

Розглядаються причини виникнення похибок та методи усунення недообліку електроспоживання в системах АСКОЕ

УДК 621.316.1.024

С.А. Приведенний,

В.Ф. Рой д.ф.-м.н., проф.

Харківська національна академія міського господарства

ВПЛИВ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

Зменшення споживання електричної енергії у зв'язку зі спадом виробництва в останні роки призвело до зменшення навантажень у вузлах енергосистеми, внаслідок чого в автоматизованих системах контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ) виникає від'ємна похибка, що призводить до суттєвих фінансових втрат енергопостачальних компаній. Причиною появи від'ємної похибки є похибки, що виникають на первинних датчиках струму та напруги. В якості первинних датчиків в таких системах використовуються трансформатори струму та напруги. Струмова похибка трансформаторів струму, яку вносить трансформатор при вимірюванні струму навантаження, виникає в результаті того, що діючий на даний час коефіцієнт трансформації не відповідає номінальному.

Кутова похибка трансформатора струму виникає завдяки фазовому зсуву між векторами первинного струму навантаження та вторинного струму при такому виборі їх напрямку, щоб в ідеальному трансформаторі даний струм дорівнював нулю, тобто – це кут між вектором первинного струму та вектором вторинного струму, повернутим на 180° . Кутова похибка вимірюється в мінутах (мін), та вважається додатковою, коли вектор вторинного струму, повернутий на 180° , випереджає вектор первинного струму.

Дана проблема висвітлювалась в роботах [1,2], але конкретних даних щодо параметрів похибок трансформаторів струму у всьому діапазоні навантаження та можливостей їх врахування при обліку електроенергії не наведено. Тому завданням даної роботи було проведення дослідження впливу навантаження мережі на величину похибок у найбільш розповсюджених трансформаторах струму та складання математичних моделей, які дають змогу враховувати цю похибку в автоматизованих системах контролю та обліку електроенергії. Величина даних похибок розраховувалась згідно формул, наведених в [3,4].

Струмова похибка:

$$f_{1н} = \frac{33,8 \cdot l_M \cdot Z_2^{0.6} \cdot I_{2н}^{1.2}}{(I_1/I_{1н})^{0.4} \cdot f^{0.6} \cdot F_{1н}^{1.6} \cdot S_M^{0.6}} \cdot \sin(\psi + \alpha) \cdot 100\% \quad (1)$$

де l_M - середня довжина магнітної силової лінії в магнітопроводі, м; Z_2 - опір вторинних струмових кіл (повний опір вторинного кола та вторинної обмотки), Ом; I_2 - вторинний струм трансформатора струму; I_1 - первинний струм трансформатора струму (береться в процентах від номінально); F - частота змінного струму, Гц; S_M - дійсне значення перерізу магнітопроводу, м^2 ; ψ - кут втрат; α - кут зсуву фаз між вторинною е.р.с. E_2 та вторинним струмом I_2 , град.

Кутова похибка:

$$f_{1H} = \frac{119332 \cdot l_M \cdot Z_2^{0.6} \cdot I_{2H}^{1.2}}{(I_1/I_{1H})^{0.4} \cdot f^{0.6} \cdot F_{1H}^{1.6} \cdot S_M^{0.6}} \cdot \sin(\psi + \alpha) \quad (2)$$

де l_M - середня довжина магнітної силової лінії в магнітопроводі, м; Z_2 - опір вторинних струмових кіл (повний опір вторинного кола та вторинної обмотки), Ом; I_2 - вторинний струм трансформатора струму; I_1 - первинний струм трансформатора струму (береться в процентах від номінального); F - частота змінного струму, Гц; S_M - дійсне значення перерізу магнітопроводу, м^2 ; ψ - кут втрат; α - кут зсуву фаз між вторинною е.р.с. E_2 та вторинним струмом I_2 , град.

Як свідчать результати дослідження, основний вплив на величини похибок трансформаторів струму мають їх завантаження по струму та величина опору вторинних кіл. В умовах зниження споживання електроенергії промисловими підприємствами завантаження трансформаторів часто не перевищує 5-15%, що призводить до значного збільшення похибок [3]. Значення розрахованих струмової та кутової похибок трансформаторів струму (за ГОСТ 7746-89) наведені в таблиці.

Результати розрахунку похибок трансформаторів струму.

Клас точнос-ті	Первинний струм, в проце-нтах від номі-нального	Похибка			Вторинне на-вантаження, в процентах від номінального, при cos φ=0,8
		струмова, %	Кутова		
			мінути	градуси	
0,2	5				-
	10	±0,75±0,50	±30±20	±0,9±0,6	
	20	±0,35±0,20	±15±10	±0,4±0,3	
	100-200				
0,5	5				25-100
	10	±1,5±1,0	±90±60	±2,5±1,7	
	20	±0,75±0,5	±45±30	1,35±0,9	
	100-200				

Результати розрахунків кутової та струмової похибок трансформаторів ТПОЛ 600/5, виконані по формулам (1) і (2), показані на рис.1,2 (де 1 – розрахункова крива; 2 – апроксимована крива). Вид апроксимуючого виразу та критерій узгодження розрахункової та апроксимуючої кривих показані на графіках.

З наведених результатів витікає, що кутова похибка проявляється при дуже малому навантаженні вимірювального трансформатора, який межує з режимом холостого ходу, тому її внесок для реальних режимів роботи трансформатора можна вважати незначним.

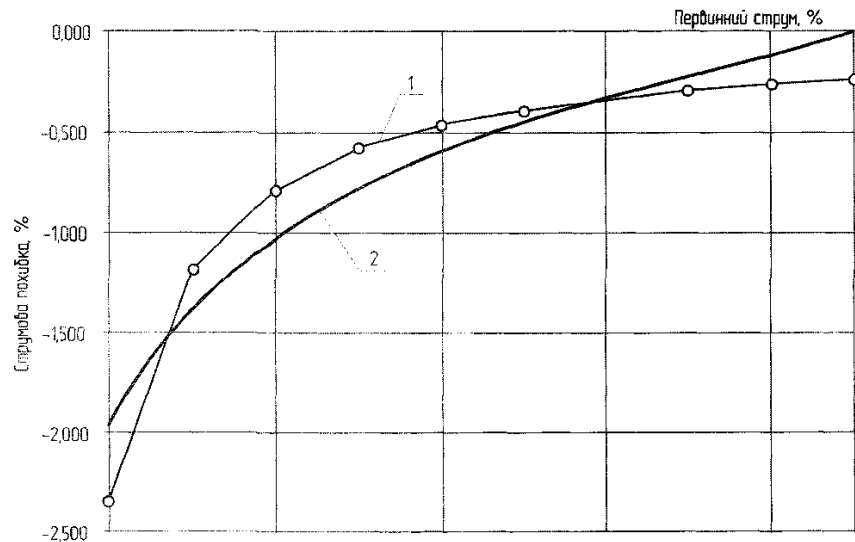


Рис. 1. Результати розрахунку струмової похибки.

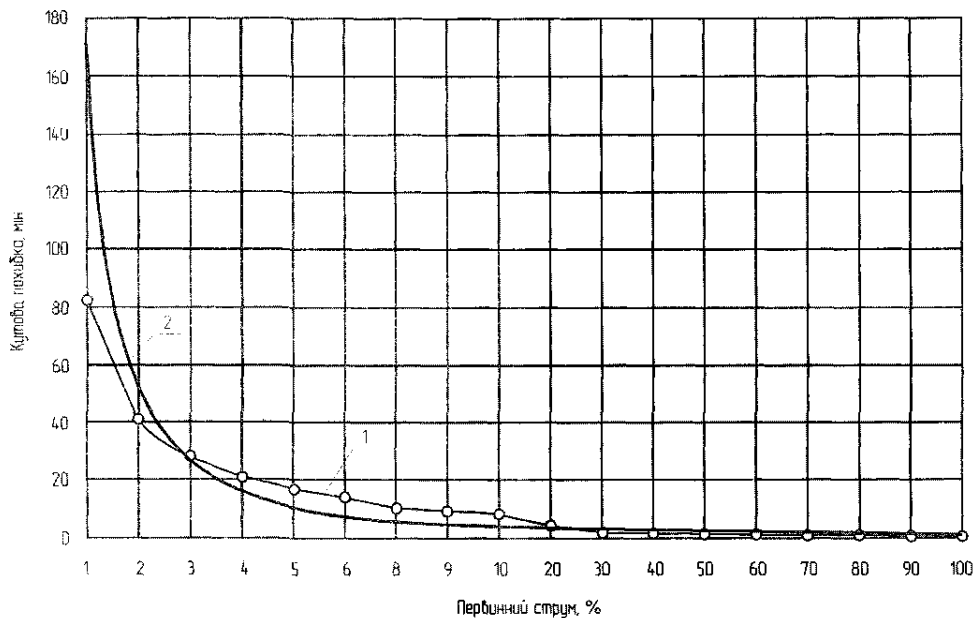


Рис. 2. Результат розрахунку кутової похибки.

Проведені розрахунки свідчать, що для діапазонів вимірювання (1-10% і 10-100%) первинного струму від його номінального значення математичні моделі струмової похибки найбільш розповсюджених трансформаторів струму мають такий вигляд:

Трансформатор ТПОЛ10-600/5:

$$\Delta f[\%] = 0,8428 \cdot \ln I_1 - 1,9617 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%$$

$$\Delta f[\%] = 0,0841 \cdot \ln I_1 - 0,3919 \text{ для діапазону } 10 < I_1 < 100\%$$

Трансформатор ТЛШ10-2000/5:

$$\Delta f[\%] = 0,7227 \cdot \ln I_1 - 1,6815 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%$$

$$\Delta f[\%] = 0,0722 \cdot \ln I_1 - 0,3353 \text{ для діапазону } 10 < I_1 < 100\%$$

Трансформатор ТПШФД10-3000/5:

$$\Delta f[\%] = 0,5986 \cdot \ln I_1 - 1,2261 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%$$

$\Delta f[\%] = 0,0597 \cdot \ln I_1 - 0,1111$ для діапазону $10 < I_1 < 100\%$.

Величину первинного струму I_1 трансформатора струму в формули (1), (2) слід підставити в процентах від номінального значення [5].

Результаті досліджень струмових похибок різних типів трансформаторів струму з первинним номінальним струмом в діапазоні 75-600А дозволили зробити такі висновки:

- в колах виміру первинного струму в діапазоні $1 \div 25\%$ номінального значення струмова похибка має від'ємний знак;
- зі збільшенням величини первинного струму абсолютне значення струмової похибки зменшується;
- врахування струмової похибки трансформатора струму в АСКОЕ дозволить зменшити величину небалансу електроенергії по підстанціям;
- кількість врахованої електроенергії, що передається споживачам, завдяки наявності від'ємної струмової похибки, занижена по відношенню до реально відпущеної. Тому врахуванні струмової похибки трансформаторів струму в АСКОЕ дозволить більш точно оцінювати об'єм електроенергії, яка відпускається споживачам, що дасть відчутний економічний ефект.

Литература

1. Владимиров Ю.В., Крамская Т.А. Учет влияния нестационарности нагрузки на потери в электрических сетях. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков. 2006. - №4/3 (22). – С.46-49
2. Кизилев В.У. Концепция компенсации некачественности потребности электроэнергии // Энергетика и электрификация, №1, 2007, - С.50-52.
3. Хныков А.В. Теория и расчет трансформаторов. М.: СОЛОН-Прес, 2004, 125с.
4. Афанасьев В.В., Алоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С. Трансформаторы тока. Л.: Энергоатомиздат, 1989, 409с.
5. РД 34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. М., 1995, 25с.

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.

С.А. Приведенный, В.Ф. Рой

Рассматриваются причины возникновения погрешностей и методы устранения недоучета электропотребления в системах АСКУЭ

MEASURING TRANSFORMER ERROR INFLUENCE ON ACCURACY ENERGY READINGS

S.A. Privedennyi, V.F. Roy

The reasons of inaccuracy origin are considered and methods of the removal of energy consumption underestimating in system ASCOE